

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平4-340669

(43) 公開日 平成4年(1992)11月27日

(51) IntCl. ³	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 6 F 15/62	3 4 0	8125-5L		
	3 5 0	8125-5L		

審査請求 未請求 請求項の数2(全 9 頁)

(21) 出願番号 特願平3-112862

(22) 出願日 平成3年(1991)5月17日

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 新井 清志

東京都国分寺市東窓ヶ窪1丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内

(74) 代理人 弁理士 小川 勝男

(54) 【発明の名称】 多関節構造体の動画像生成方法

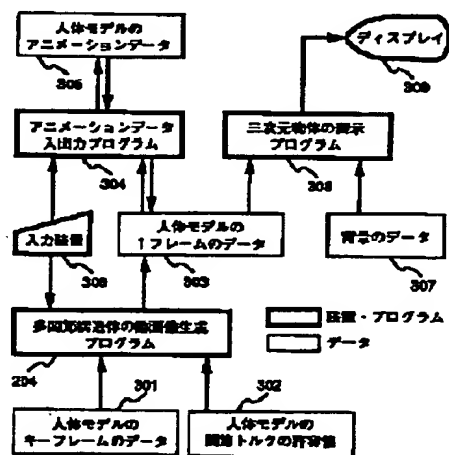
(57) 【要約】

【目的】 本発明は、三次元物体の動画像生成を行う方法に係り、特に多関節構造体のキーフレームを用いた動画像生成に好適な方法を提供することを目的とする。

【構成】 多関節構造体の動画像生成プログラム (204) を実行し、人体モデルのキーフレームのデータ (301) と人体モデルの関節トルクの許容値 (302) とから、人体モデルの1フレームのデータ (303) を逐次得る。キーフレーム間の所要時間の初期値は、プログラム204の中で与えるか、または入力装置306からユーザが入力する。データ303の内容は、アニメーションデータ入出力プログラム (304) により、人体モデルのアニメーションデータ (305) として蓄積する。

【効果】 本発明により、力学を考慮した多関節構造体のリアリスティックな動画像を、キーフレームから容易に生成することができるようになる。

(図3)



1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 一個以上の関節を持つ多関節構造体のある時刻における関節角のデータからなるキーフレームと、各々の関節における関節トルクの許容値とから、隣接するキーフレーム間の所要時間を決定し、その結果を用いてキーフレーム間を内挿する動きのデータを求めることを特徴とする多関節構造体の動画像生成方法。

【請求項2】 前記動きのデータの計算法は、前記所要時間に初期値を与え、三次関数を用いて前記キーフレーム間の関節角を内挿し、逆動力学演算により関節トルクを求め、該関節トルクが前記許容値を超えないように、関節角加速度を実数倍する修正と、前記所要時間を変更する修正とを行ない、前記動きのデータを求めることを特徴とする請求項1記載の多関節構造体の動画像生成方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は三次元物体の動画像生成を行う方法に係り、特に多関節構造体のキーフレームを用いた動画像生成に好適な方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 コンピュータグラフィックスの分野において、三次元物体を動かすとき、リアリスティックな動きを得るために力学を考慮する場合がある。特に、多数の関節を持ち、その関節角の変化によって動く多関節構造体の動きを生成するとき、力学演算が役に立つことが多い。

【0003】 多関節構造体の力学計算を行なうときには、計測と制御、25、1 (1986年) 第23頁から第29頁において論じられているように、関節角、関節角速度、および関節角加速度から関節トルクを求める逆動力学演算と、関節角、関節角速度、および関節トルクから関節角加速度を求める動力学演算とが用いられている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】 リアリスティックな動きを得るためには、逆動力学演算だけでなく、動力学演算が必要であった。しかし、動力学演算には多くの計算が必要であった。また、動力学演算によって得られる動きに、ある時刻においてある姿勢になる、という条件を与えることは難しかった。このため、力学演算によって得られる動画像は、キーフレームを用いて得られる動画像に比べて、動きはリアリスティックであるが、詳細な動きを制御することは困難であった。

【0005】 本発明の目的は、多関節構造体の動画像生成処理において、力学を考慮したリアリスティックな動きを、キーフレームから容易に生成できる動画像生成方法を提供することにある。

【0006】

【課題を解決するための手段】 上記目的を達成するため、キーフレーム間の所要時間に初期値を与え、三次関

2

数を用いてキーフレーム間の関節角を内挿する。そして、逆動力学演算により、キーフレーム間における関節トルクを求める。関節トルクが許容値を超えた場合は、関節角加速度を実数倍する修正を行なう。与えられた所要時間で、関節トルクが許容値を超えない動きが得られなかった場合は、この所要時間を変更する修正を行ない、キーフレーム間の関節角の内挿処理に戻る。

【0007】

【作用】 三次関数を用いてキーフレーム間の関節角を内挿することにより、キーフレーム間の滑らかな動きを初期データとして用いることができる。逆動力学演算により、初期データの中で関節トルクが不自然に大きくなっている部分を検出できる。関節角加速度を実数倍することにより、動力学演算を行わずに少ない計算量で関節角加速度が修正できる。キーフレーム間の所要時間を変更することにより、キーフレーム間の動きが自然な動きになる所要時間を求めることができる。以上により、力学を考慮したリアリスティックな動きを、キーフレームから容易に生成できる。

【0008】

【実施例】 本発明の処理の概念を図1に、処理の概要を図2に示す。多関節構造体のある時刻における各々の関節角 (103) のデータからなるキーフレーム (101) と、次の姿勢を表す各々の関節角 (104) のデータからなるキーフレーム (102) と、その間における各々の関節の関節トルクの許容値の範囲 (108) とを与える。逆動力学演算を含む多関節構造体の動画像生成プログラム (204) により、関節トルク (107) が許容値の範囲 (108) を超えないという条件のもとで、キーフレーム101と102の間の所要時間 (106) と、キーフレーム101と102の間を内挿する関節角 (105) とを求める。プログラム204により、101および102の集合である多関節構造体のキーフレームのデータ (201) と、108の集合である多関節構造体の関節トルクの許容値 (202) とから、ある時刻における105の値の集合である多関節構造体の1フレームのデータ (203) を逐次得る。

【0009】 本発明において、動画像とは、十分短い一定の時間間隔で連続するフレームの集合を指す。これらのフレームの中で、そのフレームにおける多関節構造体の姿勢をユーザが直接与えるものを、キーフレームと呼ぶ。キーフレームとキーフレームの間のフレームのデータは、キーフレームにおける多関節構造体の姿勢を内挿することによって求められる。

【0010】 図2に示す処理を、人体モデルのアニメーション制作に応用する場合のシステム構成を図3に示す。このシステムを用いると、人体モデルがリアリスティック動くアニメーションを効率良く制作できる。ユーザは、マウスやキーボード等の入力装置 (306) を用いて、多関節構造体の動画像生成プログラム (204) を実行し、データ201に相当する人体モデルのキーフレーム

3

のデータ (301) とデータ202に相当する人体モデルの関節トルクの許容値 (302) とから、データ203に相当する人体モデルの1フレームのデータ (303) を逐次得る。データ303の集合が、キーフレーム間を内挿するデータである。キーフレーム間の所要時間の初期値は、プログラム204の中で与えるか、または入力装置306からユーザが入力する。背景のデータ (307) 、およびデータ303を三次元物体の表示プログラム (308) に入力してディスプレイ (309) に表示し、ユーザはこれを見ながら操作を行なう。データ303の内容は、アニメーションデータ入出力プログラム (304) により、人体モデルのアニメーションデータ (305) として蓄積する。プログラム204の実行終了後、データ305の内容をプログラム304を用いて逐次呼び出すことにより、制作したアニメーションを再生できる。

【0011】以下、本発明の処理の詳細について説明する。

【0012】 [1] 多関節構造体の定義

本実施例で扱う多関節構造体を図4に示す。関節 J_i と、一つ先端側にある関節 J_{i+1} とを結ぶリンクを L_i とする。また、先端の関節 J_{n+1} の先の部分をリンク L_{n+1} とする。関節 J_i は、 J_i を原点とする座標系 F_i を持つ。そして、一つベース側にある関節 J_{i-1} の持つ座標系 F_{i-1} に対する F_i の相対位置は、 4×4 の座標変換行列 M_i で表される。ベースの関節を $J_{1:n}$ とすると、 $M_{1:n}$ はワールド座標系 $F_{1:n}$ に対する $F_{1:n}$ の相対位置を表す座標変換行列である。これらの座標変換行列により、 $F_{1:n}$ で表した J_i の位置が求められる。

【0013】本実施例で扱う多関節構造体の各関節の自由度は1とする。2自由度の関節は、2つの関節と、それらの間を結ぶ長さ0、質量0のリンクに置き換えて考える。同様にして、3自由度の関節は、3つの関節と、それらの間を結ぶ長さ0、質量0の2つのリンクに置き換えて考える。また、ベースから先端に向かって枝分かれを許す。すなわち、あるリンク L_i に対して、一つ先端側のリンク L_i が複数存在してもよい。したがって、ベースのリンク $L_{1:n}$ の個数は一つであるが、先端のリンク L_{n+1} の個数は一つ以上である。

【0014】 [2] 逆動力学演算

多関節構造体のすべての関節の、ある時刻における関節角、関節角速度、関節角加速度が与えられると、逆動力学演算により、すべての関節の関節トルクが求められる。本実施例では、ニュートン・オイラー法を用いた逆動力学演算の手順について述べる。

*

$$I_{11} = (m_i \cdot h_i^2 + 3m_i \cdot w_i^2) / 12 \quad \dots (数1)$$

$$I_{22} = (m_i \cdot w_i^2) / 2 \quad \dots (数2)$$

$$I_{33} = (m_i \cdot h_i^2 + 3m_i \cdot w_i^2) / 12 \quad \dots (数3)$$

$$I_{12} = I_{13} = I_{21} = I_{23} = I_{31} = I_{32} = 0 \quad \dots (数4)$$

逆動力学演算は、以下に示す手順で行なう。なお、以下の式において、' は時間での1次微分、'' は時間での2

4

* 【0015】演算に必要な量を以下のように定義する。

θ_i を、 J_i の関節角とする。

τ_i を、 J_i の関節トルクとする。

m_i を、 L_i の質量とする。

ω_i を、 J_i の回転速度を表す 3×1 ベクトルとする。

z_i を、 J_i の回転軸を表す 3×1 ベクトルとする。

v_i を、 J_i の並進速度を表す 3×1 ベクトルとする。

u_i を、 L_i の重心の並進速度を表す 3×1 ベクトルとする。

10 r_i を、 J_i から J_{i+1} への 3×1 ベクトルとする。

s_i を、 J_i から L_i の重心への 3×1 ベクトルとする。

f_i を、 L_i から L_{i+1} へ作用する力を表す 3×1 ベクトルとする。

f_{i+1} は、 L_{i+1} に外部から作用する力を表す。

n_i を、 L_i から L_{i+1} へ作用するモーメントを表す 3×1 ベクトルとする。

n_{i+1} は、 L_{i+1} に外部から作用するモーメントを表す。

A_i を、 F_i から F_{i+1} への回転に関する 3×3 変換行列とする。

20 A_i は、 $M_{1:n}$ から M_i までの積の、回転に関する 3×3 の部分行列と一致する。

I_i を、 F_i で表した L_i の重心まわりの 3×3 慣性テンソルとする。

g を、重力加速度を表す 3×1 ベクトルとする。

E を、 $J_{1:n}$ の総数、すなわち $L_{1:n}$ の総数とする。

Kf を、力を表す E 個の列ベクトルからなる $3 \times E$ 行列とする。

Kf の1番目の列ベクトルが、1番目の $L_{1:n}$ に外部から作用する力を表す。

30 Kn を、モーメントを表す E 個の列ベクトルからなる $3 \times E$ 行列とする。

Kn の1番目の列ベクトルが、1番目の $L_{1:n}$ に外部から作用するモーメントを表す。

N を、関節の総数、すなわちリンクの総数とする。

Θ を、1番目の成分を θ_i とする $N \times 1$ ベクトルとする。

T を、1番目の成分を τ_i とする $N \times 1$ ベクトルとする。

【0016】リンク L_i を、半径 w_i 、高さ h_i 、 F_i の y 軸を回転軸とする密度一様な円柱で表すと、 L_i の慣性テンソル I_i の第1行第1列の成分 I_{11} は次のようになる。

【0017】

次微分を表し、 \cdot は転置を表す。

50 【0018】 (1) $\omega_{1:n}$ 、 $\omega_{1:n}$ 、 $v_{1:n}$ 、 $v_{1:n}$ に数5

5

6

に示す初期値を与える。

[0019]

$$\omega_{1,0} = 0, \omega_{1,0}' = 0, v_{1,0}' = -g \quad \dots (数5)$$

数5により、 $v_{1,0}'$ に対して鉛直上向きに重力加速度分のオフセットが与えられる。

[0021]

[0020] (2) ベースから先端に向かって、数6か*

$$\omega_i = \omega_1 + z_i \cdot \theta_1' \quad \dots (数6)$$

$$\omega_i' = \omega_1' + z_i \cdot \theta_1'' + \omega_1 \times z_i \cdot \theta_1' \quad \dots (数7)$$

$$v_i' = \omega_1' \times r_i + \omega_1 \times (\omega_1 \times r_i) + v_1' \quad \dots (数8)$$

$$u_i' = \omega_1' \times s_i + \omega_1 \times (\omega_1 \times s_i) + v_i' \quad \dots (数9)$$

(3) 1番目の $f_{1,1}$ 、および1番目の $n_{1,1}$ に、数10 10※ [0022]

に示す初期値を与える ($1 \leq i \leq E$)。 ※

$$f_{1,1} = Kf \cdot e_1, n_{1,1} = Kn \cdot e_1 \quad \dots (数10)$$

数10において、 e_1 は、1番目の成分が1でその他は0であるような $E \times 1$ 単位ベクトルである。

[0024]

[0023] (4) 先端からベースに向かって、数11★

$$f_i = m_i u_i' + \Sigma f_i \quad \dots (数11)$$

$$n_i = A_i I_i \omega_i' + \omega_i \times (A_i I_i \omega_i') + s_i \times m_i u_i' + \Sigma ((r_i \times f_i) + n_i) \quad \dots (数12)$$

$$\tau_i = z_i' \cdot n_i \quad \dots (数13)$$

以上の手順により、 T を求める。この計算を、関数 $Inv_dynamics$ を用いて数14のように表す。 ☆

$$T = Inv_dynamics(\Theta, \Theta', \Theta'', g, Kf, Kn) \quad \dots (数14)$$

[3] 関節角加速度の修正

数14によって得られる T が、各関節の関節トルクの許容値を超えた場合、関節角加速度 Θ'' を修正して、 T が許容値の範囲に収まるようにする。この修正を効率よく行なうためには、ある時刻における Θ, Θ', T から ◆

$$H\Theta'' = T - B \quad \dots (数15)$$

H を慣性行列、 B をバイアスペクトルという。 B は $N \times 1$ ベクトルであり、数16によって得られる。 *30

$$B = Inv_dynamics(\Theta, \Theta', 0, g, Kf, Kn) \quad \dots (数16)$$

H は $N \times N$ 行列であり、その1番目の列ベクトル H_1 は数17によって得られる ($1 \leq i \leq N$)。 ※

$$H_1 = Inv_dynamics(\Theta, 0, e_1, 0, 0, 0) \quad \dots (数17)$$

数17において、 e_1 は、1番目の成分が1でその他は0であるような $N \times 1$ 単位ベクトルである。 B の1番目の成分を b_1 とすると、 b_1 は、関節角加速度の影響を無視した場合の J_1 の関節トルクを表す。また、 H_1 は、関節角速度、重力、外力の影響を無視し、 J_1 の関節角加速度を1、他の関節角加速度を0にした場合の J_1 の関節トルクを表す。

[0029] バイアスペクトル B および慣性行列 H を求めれば、 T から Θ'' を求めることができる。しかし、 H ★

$$-\lambda_i - b_i \leq k(\tau_i - b_i) \leq \lambda_i - b_i \quad \dots (数18)$$

k_i を求める計算を、関数 Get_coef を用いて数19のように表す。 ☆

$$k_i = Get_coef(\Theta, \Theta', \Theta'', g, Kf, Kn, \Lambda) \quad \dots (数19)$$

数19は、 Θ と Θ' と、目標とする Θ'' が与えられたとき、 Λ の制限内では Θ'' の k_i 倍の関節角加速度が実現できることを意味する。そこで、 $k_i \cdot \Theta''$ を、修正され

◆ Θ'' を求める演算が必要である。数14の Θ'' と T との間には、数15に示す関係が成り立つので、この関係を利用すればこの演算が実行できる。

[0026]

★を求めるためには多くの計算が必要である。そこで、本発明では、 H と $T - B$ が比例することに着目し、 B だけを求めて Θ'' を修正する。関節 J_i の関節トルクの絶対値の最大値を λ_i とし、1番目の成分が λ_i であるような $N \times 1$ ベクトルを Λ とする。すべての i ($1 \leq i \leq N$) について数18を満たす k の中で、最も1に近いものを k_i とする。

[0030]

た関節角加速度とする。なお、 k_i が求められない場合もあり、このとき関数 Get_coef は便宜上 ϕ を返すものとする。すなわち、 $k_i = \phi$ と表す。 $k_i = \phi$ のときは、目

標とする Θ ”を変更して、 k_0 を求める演算を繰り返す。目標とする Θ ”を Θ_0 ”とし、本発明における関節角加速の修正手順をまとめると、以下ようになる。

(1) ある時刻における Θ_0 、 Θ_0' 、 Θ_0 ”から、数14によってTを求める。(2) 同様にして、 Θ_0 、 Θ_0' 、 Θ_0 ”から、数16によってBを求める。

(3) T、B、 Λ から、数18によって k_0 を求める。手順(1)から手順(3)までが関数Get_coefに相当する。

(4) Θ_0 ”を k_0 倍したものを、修正された関節角加速度とする。

【0032】 $k_0 = \phi$ のときは、 Θ_0 ”を変更して、手順(1)から手順(3)までを繰り返す。 Θ_0 ”の与え方*

$$\text{Theta}_i(t) = c_{13} \cdot t^3 + c_{12} \cdot t^2 + c_{11} \cdot t + c_{10} \quad \dots (\text{数} 20)$$

ただし、 $\text{Theta}_i(t)$ は区間の両端において、隣接する区間の関数と1次微分まで連続とする。数20の4つの係数 c_{13} 、 c_{12} 、 c_{11} 、 c_{10} は、数21から数25まで※

$$\text{Theta}_i(t_0) = \theta_{0i} \quad \dots (\text{数} 21)$$

$$\text{Theta}_i'(t_0) = \theta_{0i}' \quad \dots (\text{数} 22)$$

$$\text{Theta}_i(t_1) = \theta_{1i} \quad \dots (\text{数} 23)$$

$$\text{Theta}_i(t_2) = \theta_{2i} \quad \dots (\text{数} 24)$$

$$\text{Theta}_i'(t_1) = 0 \quad \dots (\text{数} 25)$$

どの条件式を用いるかは、数26によって決定する。

$$D_i = (\theta_{2i} - \theta_{1i}) \cdot (\theta_{1i} - \theta_{0i}) \quad \dots (\text{数} 26)$$

ただし、時刻 t_1 におけるキーフレームが最後のキーフレームの場合は、 $D_i = 0$ とする。 $D_i > 0$ のときは、数21、数22、数23および数24を用いて $\text{Theta}_i(t)$ の係数を決定する。 $D_i \leq 0$ のときは、数21、数22、数23および数25を用いる。 $D_i \leq 0$ のときに数25を用いることにより、時刻 t_1 において $\text{Theta}_i(t)$ は極大値または極小値を持つ。これにより、キーフレームの前後で関節角速度の方向が逆転するとき、関節角はキーフレームで与えた角度を超えずに変化する。

【0037】【5】キーフレーム間の関節角の修正
区間 $[t_0, t_1]$ における関節角を表す関数が決定したら、この区間における関節トルクを求める。関節トルクが Λ の範囲を超える時刻においては、関節角加速度を修正し、これに基づいて関節角を修正する。この処理を、★

$$\Theta_i' = (\Theta_i - \Theta_0) / \Delta t \quad \dots (\text{数} 27)$$

$$\Theta_0'' = (\Theta_i' - \Theta_0') / \Delta t \quad \dots (\text{数} 28)$$

(4) Θ_0 、 Θ_0' 、 Θ_0 ”から、数29を用いて k_0 を求める。これを数30に代入して Θ_0 ”を決定する。★

$$k_0 = \text{Get_coef}(\Theta_0, \Theta_0', \Theta_0'', g, Kf, Kn, \Lambda) \quad \dots (\text{数} 29)$$

$$\Theta_0'' = k_0 \cdot \Theta_0' \quad \dots (\text{数} 30)$$

(5) Θ_0' 、 Θ_0 ”から、数31および数32を用いて Θ_0 を求める。◆

$$\Theta_0' = \Theta_0' + \Theta_0'' \cdot \Delta t \quad \dots (\text{数} 31)$$

$$\Theta_0 = \Theta_0' + \Theta_0' \cdot \Delta t \quad \dots (\text{数} 32)$$

$k_0 = 1$ のとき、手順(2)で求めた Θ_0 と手順(5)で求めた Θ_0 は一致し、 $k_0 \neq 1$ のときは一致しない。した

*については、【5】で述べる。

【0033】【4】キーフレーム間の関節角の内挿

本発明では、キーフレームの時刻と、キーフレーム間の関節角を補間するデータを与え、このデータに対して【3】の処理を行なう。隣接する3つのキーフレームの時刻が t_0 、 t_1 、 t_2 に設定されており、それぞれの時刻における J_i の関節角が順に θ_{0i} 、 θ_{1i} 、 θ_{2i} であるとする($1 \leq i \leq N$)。これらの値を用いて、区間 $[t_0, t_1]$ の任意の時刻 t における J_i の関節角を表す関数 $\text{Theta}_i(t)$ を決定する。 $\text{Theta}_i(t)$ は数20に示す3次関数とする。

【0034】

※の5つの条件式のうちの4つを用いて決定する。

【0035】

【0036】

★ t_0 から t_1 まで、十分短い一定の時間間隔 Δt の時刻に対して逐次行なう。

【0038】現在の時刻を t_c 、次の時刻を $t_s = t_c + \Delta t$ とする。時刻 t_c 、 t_s のときの関節角をそれぞれ Θ_c 、 Θ_s とし、時刻 t_c における関節角加速の目標値を Θ_0 ”とする。関節角の修正は、以下に示す手順を繰り返すことにより行なう。

【0039】(1) まず、 Θ_c および Θ_c' が与えられているものとする。

【0040】(2) Θ_0 を、関数 Theta_i ($1 \leq i \leq N$)により求める。

【0041】(3) Θ_c 、 Θ_c' 、 Θ_0 から、数27および数28を用いて Θ_0 ”を求める。

【0042】

★【0043】

◆【0044】

がって、 $k_0 \neq 1$ のときに限り Θ_0 が修正される。なお、上記の手順の途中で $k_0 = \phi$ になった場合は、その時点

で処理を中断する。

【0045】[6] キーフレーム間の所要時間の修正
区間 $[t_0, t_1]$ における関節角の修正の過程で、 $k_i = \phi$ にならず、また $t_i = t_1$ のときに $k_i = 1$ になったとする。このとき、区間の両端でキーフレームと一致し、区間内の関節トルクが Λ の範囲を超えない関節角のデータが得られたことになる。このようなデータが得ら

$$t_i = t_{i-1} - p \Delta t, \quad t_i = t_{i-1} - p \Delta t$$

… (数33)

$$t_i = t_{i-1} + p \Delta t, \quad t_i = t_{i-1} + p \Delta t$$

… (数34)

p の値を1ずつ増加させながら、数33によって得られる t_i 、 t_i の場合と、数34によって得られる t_i 、 t_i の場合の処理を行ない、所望のデータが得られるまでこれを繰り返す。効率よく計算を行なうため、[4] および [5] の処理を繰り返す際に、 $t_0 = t_0$ のときの k_i の値に着目し、この値が1に近い場合の処理を優先的に行なうようにする。

【0047】以上の処理のアルゴリズムをフローチャートで示すと、図5、図6、および図7のようになる。これらの図において新たに用いている記号の意味は、以下の通りである。

k_i 、 k_r を、 k_0 の値を格納する変数とする。

$t_i = t_0$ のときの k_0 の値を k_{i-1} とする。

$t_i = t_1$ のときの k_0 の値を k_{i+1} とする。

p のとりうる最大値を設定し、これを p_{max} とする。

b 、 f を、処理の流れを制御する整数変数とする。なお、時刻 t_{i-1} におけるキーフレームが最後のキーフレームのときは、 t_{i+1} は与えず、 t_i を求める計算も行わないものとする。

【0048】図5、図6、および図7に示すアルゴリズムにおいては、まず、最初のキーフレームに着目する (501)。次に、現在着目しているキーフレームの時刻を t_0 とし (502)、隣接するキーフレームの時刻を t_1 、 t_{i-1} 、 t_{i+1} とし (503)、 $p=0$ 、 $b=f=1$ 、 $k_i=k_r=\phi$ とし (504)、判断601に進む。 $b+f>1$ ならば (601がYESならば) 判断602に進み、さもなければ (601がNOならば) 処理507に進む。判断601がYESならば、 $b \neq 1$ (602がNO) のときは処理701に進み、 $b=1$ (602がYES) のときは数33によって t_i 、 t_i を求める (603)。そして、 $t_0 < t_i$ ならば (604がYESならば) 処理605に進み、さもなければ (604がNOならば) 処理507に進む。判断604がYESならば、[4] および [5] の処理を繰り返すことにより、区間 $[t_0, t_1]$ における関節角の内挿および修正を行なう (605)。そして、処理605の途中で $k_i = \phi$ にならず、 $k_{i+1} = 1$ になったら (606がYESならば) 処理505に進み、さもなければ (606がNOならば) 判断607に進む。 $k_i \neq \phi$ ならば (607がYESならば) 判断608に進み、さもなければ (607がNOならば) $k_i = k_{i-1}$ としてから (610を行なってから) 処理701に進む。判断607がYESのとき、 $k_{i-1} \neq \phi$ で、かつ k_{i-1} が k_i より1に近いならば (608がYESならば)

*れた場合は、次の区間の処理に進む。しかし、そうでないときは、 t_i および t_i を Δt の整数倍だけずらして、あらためて [4] および [5] の処理を行なう。 t_i 、 t_i の初期値をそれぞれ t_{i-1} 、 t_{i+1} とし、 p を0以上の整数とすると、[4] および [5] の処理を行なう際の t_i および t_i は、数33または数34で表せる。

【0046】

10 $k_i = k_{i-1}$ としてから (610を行なってから) 処理701に進み、さもなければ (608がNOならば) $b=0$ としてから (609を行なってから) 処理701に進む。

【0049】処理701においては、 $p=p+1$ とし、判断702に進む。 $p \leq p_{max}$ ならば (702がYESならば) 判断703に進み、さもなければ (702がNOならば) 処理507に進む。判断702がYESならば、 $f \neq 1$ (703がNO) のときは処理601に進み、 $f=1$ (703がYES) のときは数34によって t_i 、 t_i を求め (704)、[4] および [5] の処理を繰り返すことにより、区間 $[t_0, t_1]$ における関節角の内挿および修正を行なう (705)。そして、処理705の途中で $k_i = \phi$ にならず、 $k_{i+1} = 1$ になったら (706がYESならば) 処理505に進み、さもなければ (706がNOならば) 判断707に進む。 $k_i \neq \phi$ ならば (707がYESならば) 判断708に進み、さもなければ (707がNOならば) $k_r = k_{i-1}$ としてから (710を行なってから) 判断601に進む。判断707がYESのとき、 $k_{i-1} \neq \phi$ で、かつ k_{i-1} が k_i より1に近いならば (708がYESならば) $k_i = k_{i-1}$ としてから (710を行なってから) 判断601に進み、さもなければ (708がNOならば) $f=0$ としてから (709を行なってから) 判断601に進む。

【0050】処理507は、与えられたトルクの許容値の範囲でキーフレーム間を内挿できなかった場合に行なう処理であり、時刻 t_{i-1} におけるキーフレームか、または関節トルクの許容値を対話的に修正する。処理507が済んだら、処理502に進む。

【0051】処理505は、与えられたトルクの許容値の範囲でキーフレーム間を内挿できた場合に行なう処理であり、次のキーフレームに着目する。処理505が済んだら、判断506に進む。現在着目しているのが最後のキーフレームならば (506がYESならば) 処理を終了し、さもなければ (506がNOならば) 処理502に進む。

【0052】[7] 処理の包含関係

本発明を構成する [2] から [6] までの処理の包含関係を図8に示す。多関節構造体の動画像生成処理 (801) の最も外側の処理は、[6] で述べたキーフレーム間の所要時間の修正処理 (806) である。処理806の中で、[4] で述べたキーフレーム間の関節角の内挿処理 (804)、および [5] で述べたキーフレーム間の関節角の修正処理 (805) を行なう。処理805の中で [3] で述べた関節角加速度的修正処理 (803) を行なう。処理8

11

03の中で、【2】で述べた逆動力学演算処理(802)を行なう。

【0053】以上のようにして、すべてのキーフレームを通過し、与えられた関節トルクの許容範囲内で動く多関節構造体の関節角のデータを、少ない計算量で得ることができる。本発明の方法を用いることにより、多関節構造体のリアスティックな動きを、容易に得ることができるようになる。

【0054】

【発明の効果】本発明により、力学を考慮した多関節構造体のリアスティックな動画像を、キーフレームから容易に生成することができるようになる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の処理の概念を説明する図である。

【図2】本発明の処理の概要を説明する図である。

【図3】本発明の処理を、人体モデルのアニメーション制作に応用する場合のシステム構成図である。

【図4】多関節構造体を示す図である。

【図5】キーフレーム間の所要時間を求めるアルゴリズムを示す3つの図のうちの1番目の図である。

12

【図6】キーフレーム間の所要時間を求めるアルゴリズムを示す3つの図のうちの2番目の図である。

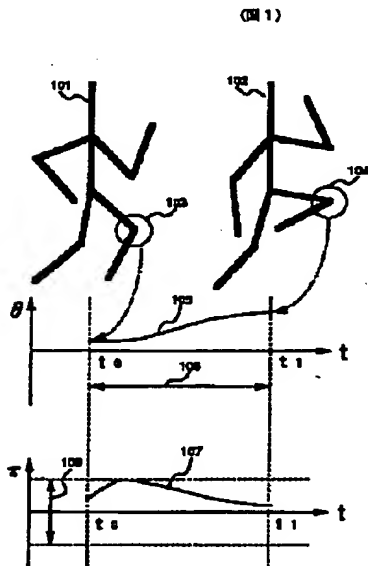
【図7】キーフレーム間の所要時間を求めるアルゴリズムを示す3つの図のうちの3番目の図である。

【図8】本発明の処理の包含関係を示す図である。

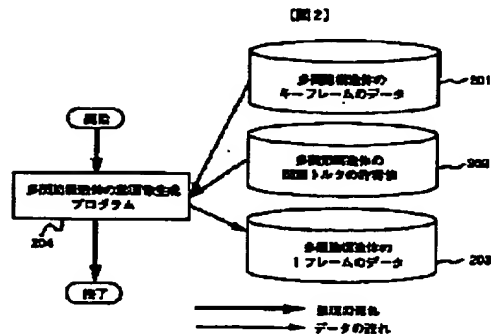
【符号の説明】

101…多関節構造体のある時刻におけるキーフレーム、102…キーフレーム101の次のキーフレーム、103…キーフレーム101における関節角の一つ、104…キーフレーム102における関節角のうち103に対応するもの、105…キーフレーム101と102の間を内挿する関節角のうち102より始まり103で終わるもの、106…キーフレーム101と102の間の所要時間、107…キーフレーム101と102の間の関節トルクのうち、105に対応するもの、108…107を制限する関節トルクの許容値の範囲、201…多関節構造体のキーフレームのデータ、202…多関節構造体の関節トルクの許容値、203…多関節構造体の1フレームのデータ、204…多関節構造体の動画像生成プログラム。

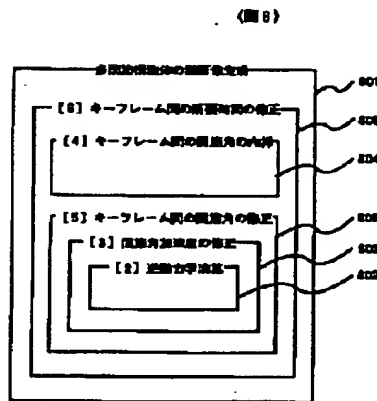
【図1】



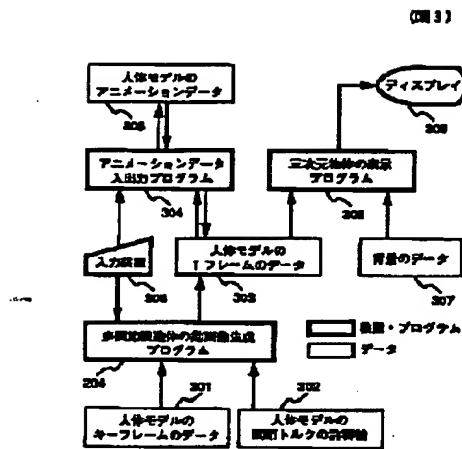
【図2】



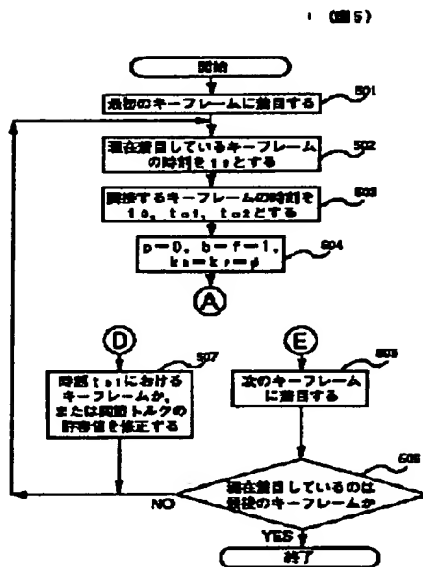
【図8】



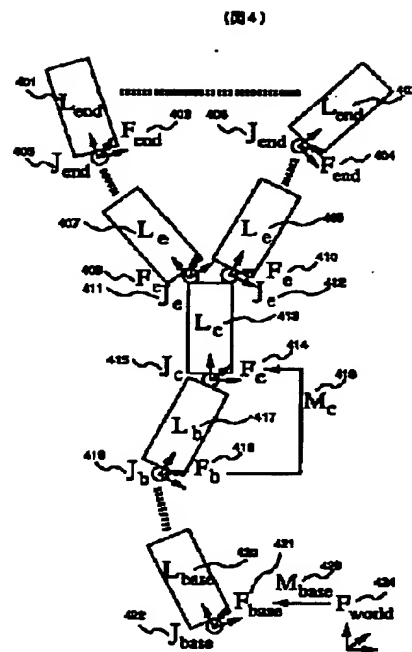
【図3】



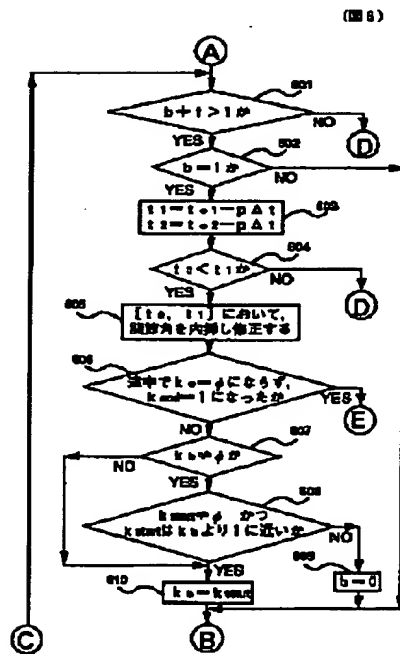
【図5】



【図4】



【図6】



【図7】

